PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number:

2002-324913

(43)Date of publication of application: 08.11.2002

(51)Int.CI.

H01L 33/00 H01L 21/205 H01S 5/323

(21)Application number: 2001-127209

25.04.2001

(71)Applicant:

RICOH CO LTD

(72)Inventor:

IWATA HIROKAZU SARAYAMA SHOJI

MIKI TAKESHI

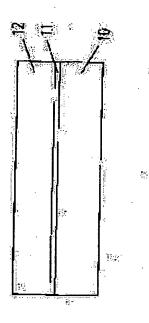
(54) III NITRIDE SEMICONDUCTOR AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(57) Abstract:

(22)Date of filing:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a III nitride semiconductor which has higher carrier concentration and higher quality than the conventional one.

SOLUTION: On a sapphire substrate 10, a low-temperature GaN buffer layer 11 and a p-type AlxGa(1-x)N (0≤x≤1) layer 12 as the III nitride semiconductor are stacked in this order. The p-type AlxGa(1-x)N (0≤x≤1) layer 12 is, for example, a p-type Al0.08Ga0.92N layer where x=0.08. The p-type Al0.08 Ga0.92N layer 12 includes Mg(magnesium) which is a p-type impurity and B(boron), each in a quantity of about 8 × 1019 cm-3.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国格群庁 (JP)

裁(4) 4 盐 华 噩 4 (12)

(11) 特許出國公園番号

œ |

特開2002-324913

(P2002-324913A)	(43)公開日 平成14年11月8日(2002.11.	(教教).十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二	C 5F041	5F045	610 5F073	
	(43)公		33/00	21/205	2/323	
		FI	H01L		H01S	
		數別配号			610	
			33/00	21/205	2/323	

H01S

(51) Int.Cl.⁷ HO 1 L 審査請求 未請求 請求項の数13 〇1 (全 25 頁)

		株	1	<u> </u>		12 12
(71) 出國人 000006747	外以对在1021-1。 東京都大田区中縣込1丁目3番6号 岩田 治和	大田区中局込1丁目3番6号 コー内	中國第二十四十四十二十四十二十四十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二	Aを担いる一内 (44代型人 100090240	井理士 植本 静浴	- 一番株質に扱る
(71) 出題人	(72) 発明者		(72) 発明者	(4) 代理人		•
株配2001-127209(P2001-127209)	平成13年4月25日(2001.4.25)					
(21) 出資券号	(22) 出版日					

(54) 【発明の名称】 111 節重化物半導体およびその作製力法および半導体装置およびその作製力法

【牒題】 従来よりもキャリア機度が高くかつ高品質の 111族選化物半導体を提供する。

]*Ga(1-*)N (0≤×≤1) 備12が順次に積層され 層12は、例えばx=0,08のp型A10.08Ga0.91 サファイア基板10上には、低温GBN N層である。そして、p型A10.08Ga0.91N層12に は、p型不純物のMg(マグネシウム)と同時にB(ボ ロン)が含まれている。ここで、MgとBは、ともに8 ている。ここで、p型AlxGa(1-x)N (0≦x≦1) ベッファー層 1 1、111 族強化物半導体としての p 型 A ×1019cm-3程度含まれている。 【解於年段】



|特許請求の範囲|

[請求項1] Mgが添加されたp型A1xGa(1-x)N (0≤×≤1) には、Mgと同時にBが緻加されている (05×51) において、即配p型A1×Ga(1-x)N ことを特徴とするIII族強化物半導体。

む半導体積層構造を有していることを特徴とする半導体 [静水項2] 請水項1記載の11族鑑化物半導体を含

回オーミック電極を形成するコンタクト層に請求項1記 糖水質2配酸の半導体装置において、p 数の111族蜜化物半導体を用いることを特徴とする半導 【歸水損3】

請求項2または請求項3記載の半導体装 置において、該半導体装置は半導体発光素子であること を特徴とする半導体装置。 [請水項4]

【請求項5】 請求項4記載の半導体装置において、前 **記半導体発光数子は半導体レーザー繋子であることを特** 散とする半導体装置。

置において、前記半導体発光繋子は、発光波長が400 【糖水煩7】 糖水煩5 記載の半導体装置において、半 1つのp-n接合を有していることを特徴とする半導体 【請求項6】 請求項4または請求項5記載の半導体装 算体装置としての半導体レーザー繋子は、鯖水頃 1 記載 の111該窒化物半導体をクラッド層に用いた少なくとも nm以下であることを特徴とする半導体装置。

の冷却を、蜜素原料を含む冷却雰囲気で行うことを特徴 1×G a (1-x) N (0 S x M 1) を、木繋ガスを含む反応 系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長恒度から Mgと同時にBが添加されているp型A とする111族選化物半導体の作製方法。 [野长版8]

製方法において、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はN H3であることを特徴とする111族蜜化物半導体の作製方 【翳水風9】 翳水風8 記載の111 版籤化物半導体の作

[請求項10] Mgと同時にBが添加されているp型 A 1 k G a (1-x) N (0 ≤ x ≤ 1)を、水霧ガスを含む反 応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温度か ちの冷却を、NH3の冷却雰囲気で行なうことを特徴と する|||核蜜化物半導体の作製方法。

4

【酵水項11】 Mgと同時にBが添加されているp型 A] x G a (1-x) N (0 ≤ x ≤ 1)を含む半導体機構構造 を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長 直後の結晶成長温度からの冷却を、蜜素原料を含む雰囲 気で行うことを特徴とする半導体装置の作製方法。

[請求項13] Mgと同時にBが添加されているp型 【請求項12】 請求項11記載の半導体装置の作製方 法において、冷却雰囲気中に含まれる強素原料はNH3 であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

帝国2002-324913

ମ୍ଭ

を、水業ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長 直後の結晶成長温度からの冷却を、NH3の冷却雰囲気 で行なうことを特徴とする半導体装置の作製方法。 [発明の詳細な説明]

【発明の属する技術分野】本発明は、DVDやCD等の **光ピックアップ用光顔,電子写真用の書き込み光顔,光** 通信用光顔、紫外線センサー、高温動作トランジスター 等に利用される111族蛮化物半導体およびその作製方法 および半導体装置およびその作製方法に関する。 2

[0002]

Nバッファー層を用いた結晶成長技術の向上と、水楽パ って低低抗化する技術が見出され、高輝度の青色LED 【従来の技術】従来、青色のLEDは赤色や緑色のLE 体において、低温AINパッファー層あるいは低温Ga **ツベーションによった高格抗化した。型層を熱処理によ** 年、一般式InAlGanで扱されるIII灰鑑化物半導 Dに比べて輝度が小さく実用化に難点があったが、近

Nの低抵抗化の研究が進み、種々の機繋がなされ、低出 力(数mw)ではあるが、室道近傍で連続発版する紫色 【0003】その後、更なる結晶性の向上と、p 型G a 半導体レーザーが実用化された。 20

が実用化された。

【0004】以上のように、III核蛮化物半導体装置の 開発を行う上で、p型111族窒化物の作製技術は重要な 基本技術となっている。

協合し、『型不純物を不活性化してしまうため、木繋を 含む雰囲気での結晶成長や、水素ガス中や水器を生成す るガス中で熱処理を行った場合には高抵抗化する。従っ て、木寮をキャリアガスとして使用するMOCVD等の [0005] p型III族塞化物は、p型不純物と水繋が 方法では、p型III族選化物をas-grown (熱処 理等の特別な後処理を行わない結晶成長したままの状 20

oでp型化する第1の作製方法と、結晶成長の工程を工 [0006] p型III族蜜化物を作製するための方法と しては、高抵抗化したIII族蛮化物に特別な処理を行な **夫することによってp型!!!抜選化物を作製する第2の** 態)で作製することは困難であった。 作製方法とに大別される。

めの特別な処理に関しては、特別平5-183189号 で、敷処理を行い、結晶中に含まれる水索の一部を結晶 【0007】上記第1の作製方法において、p型化のた 外へ拡散排出し、低抵抗のp型にする方法が提案されて (以下、従来技術1という) には、水繋や水繋を生成す る水素化物のガス (NH3等)を含まない雰囲気ガス中

[0008] あるいは、特開平3-218625号(以 照射し、結晶中に含まれる水業とp型不純物の結合を切 F、従来技術2という) には、低エネルギーの<mark>低子</mark>報を って低抵抗のD型にする方法が協案されている。

<u>_</u>

-2-

2

A | x G a (1-x) N (0 ≤ x ≤ 1) を含む半導体積層構造

[0009] また、上記第2の作製方法において、結晶 成長の工程を工夫する仕方として、特開平8-1252 22号(以下、従来技術3という)には、結晶成長終了 後の冷却過程を、窒素や不活性ガス等の水素を含まない ガス雰囲気中で行うことで、低極抗のp型にする方法が

るMBE性である。これらの方法では、as-grow n (結晶成長したのみで、p型化の特別な処理をしてい [0010] また、結晶成長を水業ガスを含まない系で 行う方法も採られている。これは窒素をキャリアガスに 使用したMOCVD法や、水霧を含まない原料を使用す ない状態)でp型GaNが得られることが知られてい

cm-3~3×10½ cm-3の範囲でドーピングしてp型 451号 (以下、従来技術4という) には、[nxAly とによって、その上に成長するp型GaN層の歪みを緩 和して結晶性の悪化を防ぐことで、as-grownで [0011]また、別の方法として、特開平6-232 (0<×<1, 0≦y<1) 層を機衡層として用いるこ GaNEMgを3×1020cm-3ドーピングして、5× 1011 c m-3のキャリア濃度のp型GaNを作製してい Ga(1-x-y)N, (0<x<1,0≦y<1) で数され るIII族窒化物層を成長させた後に、Mgを1×1017 p型GaNを作製するものである。この方法によれば、 [0012] この方法は、InxAlyGa(1-x-y)N,

【0013】現在、以上のような方法で、p型III核蜜 化物半導体は作製されている。

[0014] 高い電流密度を必要とする発光器子等に使 導体は、前述したような方法で p 型化してもキャリア機 度は低い。例えば、半導体レーザーのクラッド層に使用 されるAIGaNでは、キャリア濃度が1011cm-3を 用されるp型III族窒化物半導体には高いキャリア濃度 が要求されるが、パンドギャップの広い川抜簧化動半 組えるものを作製することは容易ではない。

BeとSiを2:1、あるいはBeとOを2:1の比率 でGaNに1019cm-1~1020cm-3程度同時ドーピ ングして、高キャリア濃度のp型GaNを作製する方法 とSiを2:1、あるいはMgとOを2:1、あるいは [0015] これを解決する方法として、特開平10ー 101496号 (以下、従来技術5という) には、Mg

\$

【0016】また、GaN/AIGaNの超格子構造に より実効的なキャリア濃度を高める方法が提案されてお が開示されている。

り、それをクラッド層に適用した半導体レーザが作製さ

従来技術6という)に示されている半導体レーザを示す [0017] 図19は特開平11-4048号 (以下、

図である。図19を容照すると、この半導体レーザは、

13

20

サファイア基板上に選択成長とラテラル成長を組み合わ Nより成るn図光ガイド層164、Ino.05Gao.95N せて成長したG a N厚膜をサファイア基板から分離して 作製されたGaN基板160の上に、n型GaNより成 る第2のバッファー層161、n型1no.1Gao.gNよ 68、p型GaNからなるp側コンタクト層169が順 り成るクラック防止層162、n型A 10.2G ao.8N/ GaN超格子より成るn側クラッド層163、n型Ga 0.2G a 0.8N/G.a N超格子より成るp側クラッド層 1 P型A 10.3G a0.1Nより成るp側キャップ層166、 / Ino. 2 Gao. a N多重量子井戸構造の活性層 165、 p型GaNからなるp側光ガイド層167、p型A1 **次に積層されて積層構造として形成されている。**

【0018】 そして、p側コンタクト層169、p側ク ラッド層168の一部をドライエッチングして、幅4μ プ上にはp 側電極170が形成され、n型GaN基板1 60の裏面には、n回電極171が形成されている。レ mのリッジストライプを形成している。リッジストライ 一ザー共振器端面はn型GaN基板160のM面をへき 関することで形成されている。

をとることによって、実効的なキャリア濃度を増加させ 7 機度の高いG a N と A 1 o . 2 G a o . 8 N との組格子構造 [0019] ここで、p型クラッド層168は、キャリ

[0000]

[発明が解決しようとする課題] 前述したように、低抵 イギード,何出力(教mM)の衆色半導体ワーザーしか 実用化されておらず、その後の精力的な研究開発にもか 00mmより短い紫外倒板で発光する発光ダイオードや 半導体レーザー、もろいは紫外殻長倒域に感度特性を有 かわらず、萬出力動作する奥用的な紫色レーザーや、4 抗のp型III 族蜜化物半導体を作製することは難しいた め、111族窒化物半導体を使用した、高輝度青色発光ダ する実用的な受光素子は実用化されていない。

が高いために、動作亀圧の増加や、大亀流動作時の発熱 を招き、高出力動作するものが実用化されていない。ま 【0021】例えば、半導体レーザーの場合には、未だ p型クラッド層の抵抗やp側オーミック電極の接触抵抗 た、紫外波長領域で使用する発光素子あるいは受光素子 の場合は、p型AIGaN層のAI組成比が大きくなる に従い、高抵抗化するため、紫外放長領域での発光素子 や受光素子は実用化されていない。

【0022】また、実用化された低出力の紫色半導体レ 【0023】以下、従来技術の問題点を説明する。 ーザーも製造コストが高いものとなっている。

って結晶外部へ排出させる方法のため、木業を含まない 法は、p型不純物を不活性化している水素を熱処理によ る。しかしながら、この雰囲気においては、蜜素分子か [0024] 従来技術1の111核策化物半導体の5型化 雰囲気、一般的には窒素ガス雰囲気で熱処理が行われ

に、オーミック接触抵抗が大きくなる等の不具合が生じ ために、700℃を超える高温では結晶表面の分解が起 り、要面抵抗が大きくなるなど、特性の劣化が生じる場 ることがある。また、 p型化の熱処理工程を必要とする ため、製造工程の増加と熱処理設備が必要となり、工業 合があった。これは、結晶表面に電極を形成する場合 的にコストがかかる。

しないので、コスト的には低くできるが、1000℃程 度の結晶成長温度から室櫺までの降温を窒棄ガスや不活 結晶表面の分解が起り、表面抵抗が大きくなるなど、特 [0025]また、従来技術3は、熱処理工程を必要と 性ガスのみの雰囲気で行うので、従来技術1と同様に、 性の劣化が生じる場合があった。

【0026】また、従来技術2の低エネルギー電子線照 射は、電子線の侵入深さが浅く、結晶表面近傍しかp型 化できないことと、電子線を一度に照射できる面積が狭 いために、ウエハー全面をp型化するには時間がかか り、工業的にコストがかかりすぎる。

[0027] また、従来技術4の方法、すなわち、Inx 11 c m-3~1×1020 c m-3の亀囲むドーピングしてロ 型GBNを作製する方法では、直上の結晶層の歪みが綴 和され、p型特性を示すが、多層構造を形成する場合に そのため、デバイス設計の自由度が少ないという問題が ある。さらに、AIGaNの場合には、as—grow nでは高キャリア激度のものは得られにくく、影処理等 A l, G a (:-x-y) N, (0 < x < 1, 0 ≦ y < 1) 代数 されるIII族蛮化物層を成長させた後にMgを1×10 は、層厚が厚くなるに従い、その効果が薄れてしまう。 の後処理がやはり必要である。

関しては、まず、MBE法では、高真空中で結晶成長を 行うため資素の解離による欠陥が形成される等、高品質 り、成長速度が遅く、MOCVD法ほどには量産には向 【0028】水素を含まない雰囲気での結晶成長方法に な結晶成長が行いにくい。また、窒素の供給に課題があ

ピングして、高キャリア濃度のp型GaNを作製する方 **法では、ドーピング書を増やすに従い、数面モフォロジ** 一が悪くなるため、半導体レーザーのような平坦な導波 【0029】一方、MBE法と同様に水素を極力含まな しいものしか成長できず、結晶性の良いものは成長でき なかった。すなわち、水素を含まない雰囲気では髙品質 とSiを2:1、あるいはMBとOを2:1、あるいは BeとSiを2:1、あるいはBeとOを2:1の比率 で、GaNに1019cm-3~1020cm-3程度同時ドー 本願の発明者によるGaNの実験では、表面の凹凸が激 [0030]また、従来技術5の方法、すなわち、Mg い雰囲気でMOCVD法により結晶成長を行った場合、 路構造を必要とするデバイスを作製するには難があっ のp型GaNを成長できる条件が狭いと考えられる。

らなる窒素ガスは111核蜜化物の生成原料にはならない

型Alo.1Gao.8N/GaN超格子を使用してp型クラ ッド層のキャリア濃度を実効的に増加させているが、超 格子構造を作製するための結晶成長プロセスと装置が必 要となることから、結晶成長に要する時間と装置コスト 【0031】また、従来技術6の半導体レーザでは、 がかかり、半導体レーザーが高価なものとなる。

特開2002-324913

€

[0032]また、p型GaNのキャリア濃度が10is c m-3以下と十分高くないので、p型A 10.2G a0.8N /GaN組格子の実効キャリア機度も高出力半導体レー ザーを実用化するには十分とはいえず、キャリア濃度の 高いp型AIGaNが必要とされる。

2

[0033] 本発明は、上述した従来技術の問題点を解 決することを目的としている。 すなわち、従来よりもキ びその作製方法および半導体装置およびその作製方法を ナリア濃度が高くかつ高品質の111族窒化物半導体およ 提供することを目的としている。

[0034]

20

[課題を解決するための手段] 上記目的を達成するため に、請求項1記載の発明は、Mgが添加されたp型Al Ga(!-x)N (0≤x≤1)には、Mgと同時にBが欲 rGa(!-x)N (0≦×≦1) において、前記p型A 1* 怕されていることを称徴としている。

【0035】また、請求項2記載の発明は、請求項1記 戦のIII族蛮化物半導体を含む半導体積層構造を有して いることを特徴としている。

[0036]また、請水項3記載の発明は、請水項2記 載の半導体装置において、p側オーミック電極を形成す るコンタクト層に請求項1記載の111該鑑化物半導体を 用いることを特徴としている。

[0037]また、請水項4記載の発明は、請水項2ま たは請求項3記載の半導体装置において、核半導体装置 は半導体発光素子であることを特徴としている。

[0038]また、請水項5記載の発明は、請水項4記 載の半導体装置において、前記半導体発光素子は半導体 レーザー雑子であることを答散としている。

[0039]また、請求項6記載の発明は、請求項4ま たは請求項5記載の半導体装置において、前記半導体発 光素子は、発光液長が400mm以下であることを特徴

[0040]また、請水項7記載の発明は、請水項5記 ラッド層に用いた少なくとも1つのp-n接合を有して 散の半導体装置において、半導体装置としての半導体レ ーザー素子は、請求項1記載の111族窒化物半導体をク いることを特徴としている。 としている。 \$

[0041] また、錦水項8記載の発明は、Mgと同時 にBが添加されているp型A 1xGa(1-x)N (0≦x≦ 1)を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶 成長直後の結晶成長温度からの冷却を、窒素原料を含む 冷却雰囲気で行うことを特徴としている。

-9-

[0043]また、請求項10記載の発明は、Mgと同 ≦1)を、水穀ガスを含む反応系で結晶成長し、その結 時にBが添加されているp型A1xGa(1-x)N(0≦x 晶成長正後の結晶成長温度からの冷却を、NH3の冷却 雰囲気で行なうことを特徴としている。

[0044]また、請求項11記載の発明は、Mgと同 時にBが添加されているp型AlrGa(1-x)N(0≤x ≤1)を含む半導体積層構造を、水素ガスを含む反応系 で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長湿度からの 冷却を、窒素原料を含む雰囲気で行うことを特徴として

1 記載の半導体装置の作製方法において、冷却雰囲気中 [0045]また、請求項12記載の発明は、請求項1 に含まれる窒素原料はNH3であることを物徴としてい [0046]また、請求項13記載の発用は、Mgと同 時にBが務加されているp型A1rGa(1-1)N (0≦x ≤1)を含む半導体積層構造を、水素ガスを含む反応系 で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温度からの 冷却を、NH3の冷却雰囲気で行なうことを特徴として

[0047]

8 (マグネシウム) が添加されたp型A1xGa(1-x)N キャリア潑庻を制御して作製している。なお、p型不純 【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に (0≦×≤1) には、Mg (マグネシウム) と同時にB する場合には、p型不純物を適量添加することで、その 描るいた説明する。本発明のIII 旅鑑化物半導体は、M [0048] 一般的に、ロ型111核蛋化物半薄体を作製 (0≦×≦1) において、このp型A1rGa(1-x)N (ボロン) が紙加されていることを特徴としている。 物としては一般的にMgが使用される。

2

ャリア激度は1018cm-3以下と低いものしか作製でき 型不純物の活性化率は~1%と低いため、p型不純物を ~1020cm-1程度まで添加しても、p型GaNで、キ [0049] しかしながら、III核強化物半導体中のp

【0050】 さらに、AIGaN締のワイドギャップ半 導体になると、キャリア黴度はさらに低下し、高抵抗化 【0051】また、p型不純物のドーピング量が~10 20 c m-3 を超えると、表面モフォロジーが悪くなり、逆 に高板坑化してしまう。 [0052] AlxGa(1-x)N (05x≤1) 結晶に敬 加されたp型不純物(一般にはMgが使用)はGaある いはAIを囮換して二一様元殊サイトを占める。

20

[0053] しかるに、MgはGa, A1に比較してサ り、Mgには排除しようとする力が作用して、高濃度の 格子間位置に入り、その結果、ドナーとして働く。すな わち、キャリア濃度を高めようとして、高濃度にMgを r 機度が減少してしまうため、高キャリア機度の p 型 A は、このサイズの違いによって、結晶全体が不安定にな 添加すると、逆に、結晶性が悪化するとともに、キャリ イズが大きいため、Mgが添加されたAlGaN結晶 MgはIII族原子サイトを占めることができなくなり、 1xGa(1-x)N(0≤x≤1)は得られない。 10

[0054] これに対し、本発明のように、Mgと同時 キャリア繊度の減少が起らず、高いキャリア濃度のもの (1-x)N(0≤x≤1)は、南磯度にMgを添加しても に、B(ポロン)を添加して結晶成長したAlrGa が得られる。

キャリア磯度のp型A1xGa(1-x)N (0≦x≦1) が 【0055】その理由は、Ga, A1に比較してサイズ の小さいBがMgと同時に衒加されることによって、M トに入ることが可能になり、その結果、従来にない高い 8 による結晶の不安定化が緩和され、Mg がIII 抜サイ 得られると考えられる。

2

ダーであれば、A1GaNのパンドギャップや阻折率を 大きく変化させることはないので、AIGaNとして取 [0056] なお、Bの液加量は、10^{20 c m-1}のオー り扱うことができる。

第1の作製方法として、Mgと同時にBが添加されてい るp型A 1 x G a (1-x) N (0 ≦ x ≦ 1) を、水繋ガスを 含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長 温度からの冷却を、蜜業原料を含む冷却雰囲気で行うよ 【0057】また、本発明では、||| 膝嚢化物半導体の うにしている。

[0058] ここで、冷却雰囲気としては、鶏繋、ある これらに数%の水素を含む混合ガス、あるいは、窒素原 料ガスのみ、あるいは、蜜素原料ガスと水薬の准合ガス いは、不活性ガスと窒素原料との混合ガス、あるいは、 雰囲気を使用することができる。 [0059] この第1の作製方法によれば、MgとBを (0≤x≤1)の結晶成長と、前述した選案原料を含む 雰囲気ガス中での冷却を組み合わせることで、従来難し かったA 1xGa(1-x)N (0≤x≤1) のp型結晶がa 司時に務加しての高キャリア濃度のA 1xG a (1-x) N sーgrownで得られる。

\$

[0060] a s – g r o w n で p 型結晶が得られる理 長していることと、結晶成長温度からの治却を前述の冷 却雰囲気で行うことで、冷却雰囲気からの水楽の枯晶内 くの対散が苔色され、大様パツペーションによる高祐代 (04×41) が単層、あるいは積層構造の最表面に結 a(t-x)N (0≤x≤1) は高キャリア激度のものが成 由としては、MgとBが同時に添加されたp型AlvG 化が防止されるためと考えられる。A1xGa⑴-x)N

子状の窒素を生成するため、AIGaN結晶表面からの 蛮素の解離が防止され、その結果、ドナー性欠陥となる **蜜茶空孔の生成が抑制され、表面の高抵抗化が防止され** 晶成長される場合においては、さらに、冷却雰囲気に含 まれる窒素原料が、AIGaNの生成反応に寄与する原 て、低抵抗のp型AlrGa(1-x)N (0≦x≦1) がa sーgrownで得られると考えられる。

や、有機物の木葉によるクリーニング効果が期待できる 10061]また、冷却中の雰囲気ガス中に水素を含む ので、表面の汚染による表面抵抗の増加が防止できる。 場合には、結晶表面に吸着している未反応の有機原料 これは従来技術では得られなかった効果である。

【0062】また、鎧繋原科ガスとしては特に限定はし 合物を使用することによって、原子状盤森による結晶要 ないが、NHs等のその分解によって水素を発生する化 面の分解抑制効果(それによる水漿の拡散抑制効果) **水繋によるクリーニング効果が回時に得られる。**

[0063] 前述した従来技術1では、水業を発生する ていたが、これに対し、本発明の作製方法では、結晶成 中への水素の拡散侵入を抑制することで、結晶成長後の (G a (1-x) N (0≤x≤1) を作製することを特徴とし 化合物や木業ガスを含む雰囲気中では、高格抗化したロ 離であるため、水素を含まない雰囲気中で熱処理を行っ 冷却過程における高抵抗化を抑制し、低抵抗のp型A1 ても良く、水素を含む協合には水素の効果を積極的に利 |族変化物から水業を排出させて p 型化をすることは困 長直後の低抵抗のp型A 1, G a (1-x) N (0≤x≤1) た、雰囲気中には、水紫を含んでいても、含んでいなく ており、従来技術とは原理的に異なるものである。ま 用している点も従来技術とは異なる。

【0064】すなわち、Mg(マグネシウム)と同時に (0≦×≤1)の作製方法において、冷却雰囲気中に合 まれる窒素原料としてはNH3(アンモニア)を用いる B (ポロン) が落加されているp型A 1xGa (1-x) N ことがつゆる。

晶表面の分解抑制効果と木森によるクリーニング効果が には、その分解によって生成される原子状窒素による枯 【0065】 <u>窒素原料ガスとしてNHsを使用するとき</u> 回時に得られる。

第2の作製方法として、Mgと同時にBが終加されてい 含む反応系で結晶成長して作製し、その結晶成長直後の るp型A 1*Ga(1-x)N (0≦×≦1)を、水繋ガスを 【0066】また、本発明では、111核窒化物半導体の 桔晶成長温度からの冷却を、NH3の冷却雰囲気で行な うようにしている。 [0067] この第2の作製方法では、冷却中の雰囲気 れる原子状窒素による結晶表面の分解抑制効果と水器に よるクリーニング効果を、混合ガス雰囲気の場合よりも がNH3ガスのみであるので、その分解によって生成さ 効果的に得ることができる。

20

特限2002-324913

9

ガスとすることにより、表面劣化が抑制された低抵抗の p型A 1xGa(1-x)N (0≦x≦1) がas-grow 低低抗の p 型Ⅲ 核蜜化物は得られなかったが、本発明 では、結晶成長後の冷却過程において、雰囲気をNH3 は、水繋パツベーションによりり型結晶が高格抗化し、 【0068】なお、従来、NH3雰囲気中の熱処理で った年のれる。

半導体(Mg(マグネシウム)と同時にB(ボロン)が を含む半導体積層構造を有している半導体装置を構成す 【0070】なお、このような半導体装置は、p型A1 (Ga(1-x)N (0≦x≦1)の特性を用いて機能するも 磁加されているp型A11Ga(1-1)N (0≦x≦1)) [0069] また、本発明では、上述した111族登化物 ることができる。 2

のであれば、任意の案子形態をとろことができる。 すな 子), 受光棄子,電子デバイス等の形態をとることがで 【0071】具体的に、半導体発光楽子として構成する 場合、正負の2つの電極関に電圧を印加することによっ て、発光関域に電流を注入し、そこでキャリアの再結合 が生じ発光するものであれば、その構造は特に限定しな わち、半導体発光繋子(例えば、半導体ワーザー繋 φ. δ.

20

[0072] すなわち、半導体発光繋子としては、発光 ダイオードであっても良いし、半導体レーザーであって 5良い。また、半導体発光類子が倒えば半導体レーザー である場合、この半導体レーザーの構造は特に限定され るものではなく、雄両発光型,面発光型のどちらの構造 であっても良い。 【0073】また、本発明の半導体装置が半導体発光器 子である場合、この半導体発光索子としては、発光故長 が400nm以下のものにすることができる。

【0074】より具体的に、本発明では、Mg(マグネ 育する半導体装置において、p 個オーミック電極を形成 **シウム) と同時にB(ボロン)が被加されているp型A**] x G a (!-x) N (0 S x S 1)を含む半導体積層構造を **するコンタクト層に、Mg(マグネシウム)と同時にB** (ポロン) が欲加されているp型A1xGa(1-x)N(0 ≤×≤1)を用いることができる。

x G a (1-x) N (0 ≤ x ≤ 1) に p 個 オーミック 配極が形 **成され、呪**流を注入することにより機能するものであれ ば、任意の案子形態をとることができる。すなわち、半 [0075] なお、このような半導体装置は、p型A1 導体発光器子(例えば、半導体レーザー器子), 受光器 子、電子デバイス等の形態をとることができる。 40

場合、正負の2つの配極間に配圧を印加することによっ て、発光関略に電流を注入し、そこでキャリアの再結合 [0076] 具体的に、半導体発光器子として構成する が生じ発光するものであれば、その構造は特に限定しな

-5-

[0078] また、本発明の半導体装置が半導体発光素 子である場合、この半導体発光素子としては、発光波長 が400mm以下のものにすることができる。

1)を用いるコンタクト層(p 倒オーミック電極を形成 するコンタクト層)は、積層構造の最表面である必要は [0079]また、p型AlxGa(1-x)N (0≤x≦ なく、例えば段下層であっても良い。

2

(ボロン) が欲加されているp型A1xGa(1-x)N(0 **Sx≦1)をクラッド層に用いた少なくとも1つのpー** いる半導体装置が半導体レーザー素子である場合、該半 [0080]また、本発明では、Mg (マグネシウム) と同時にB(ボロン)が添加されているp型AlxGa ロ-x)N(0≦x≤1)を含む半導体積層構造を有して 導体レーザ素子を、Mg(マグネシウム)と同時にB n接合を有するものにすることができる。

【0081】ににた、半導体レーザー第子の構造は、徐 に限定されるものではない。すなわち、Mg (マグネシ x G a (1-x) N (0≤x≤1)をクラッド層に用いた少な **一ザー寮子であって、活性層にキャリアが注入され、レ** ーザー光が外部に取り出されるものであればよく、蟷面 ソ)が添加されているp型A1xGa(1-x)N(0≤x≤ 1)を含む半導体積層構造を、水繋ガスを含む反応系で 結晶成長し、その結晶成**長直後の結晶成長温度からの冷** ウム)と同時にB(ボロン)が敬加されているp型AI くとも1つのp - n 接合を有する111族窒化物半導体レ [0082]また、本発明では、Mg (マグネシウム) (1-x)N (0≤x≤1)を含む半導体装置の第1の作製 と同時にB(ボロン)が添加されているp型Al*Ga 却を、窒素原料を含む冷却雰囲気で行うことによって、 方法として、Mg (マグネシウム) と同時にB (ポロ 発光型、面発光型のどちらの構造であっても良い。 上述した半導体装置を作製することができる。

30

[0083]にこで、冷却雰囲気としては、窒素、ある これらに数%の水漿を含む混合ガス、あるいは、窒素原 **料ガスのみ、あるいは、窒素原料ガスと水素の混合ガス** いは、不活性ガスと窒薬原料との混合ガス、あるいは、 雰囲気を使用することができる。

(0 ≦ x ≦ 1)の結晶成長と、前述した窒素原料を含む 雰囲気ガス中での冷却を組み合わせることで、従来難し [0084] この第1の作製方法によれば、MgとBを かったAlxGa(1-x)N (0≤x≤1)のp型結晶がa 同時に添加しての高キャリア濃度のAlxGa(1-x)N sーgrownで得られる。

20 [0085] a s - g r o w n で p 型結晶が得られる理

長していることと、結晶成長濃度からの冷却を、前述の 帝却雰囲気で行うことで、帝却雰囲気からの水栗の結晶 なくの対数が控動され、大帯スツスーツョンによめ連続 抗化が防止されるためと考えられる。AlrGa(1-x)N (0 M× × 1) が単層、あるいは積層構造の最表面に結 晶成長される場合においては、さらに、冷却雰囲気に含 生れる窒素原料が、AIGaNの生成反応に寄与する原 子状の窒素を生成するため、AIGaN結晶表面からの 蛮素の解離が防止され、その結果、ドナー性欠陥となる 窒素空孔の生成が抑制され、表面の高抵抗化が防止され て、低格抗のp型AlxGa(1-x)N (0≤x≦1) がa 由としては、MgとBが同時に歓加されたp型AliG a (!-x)N (0≦x≦1) は高キャリア濃度のものが成 sーgrownで得られると考えられる。

[0086] また、冷却中の雰囲気ガス中に水素を含む や、有機物の木素によるクリーニング効果が期待できる ので、表面の汚染による表面抵抗の増加が防止できる。 場合には、結晶表面に吸着している未反応の有機原料 これは従来技術では得られなかった効果である。

【0087】また、鑑素原料ガスとしては特に限定はし 合物を使用することによって、原子状窒素による結晶表 面の分解抑制効果(それによる水素の拡散抑制効果)と ないが、NH3等のその分解によって水素を発生する化 水素によるクリーニング効果が同時に得られる。

20

[0088] 前述した従来技術1では、水素を発生する 化合物や木業ガスを含む雰囲気中では、高抵抗化した口 難であるため、木素を含まない雰囲気中で熱処理を行っ ていたが、これに対し、本発明の作製方法では、結晶成 中への水素の拡散侵入を抑制することで、結晶成長後の 冷却過程における高抵抗化を抑制し、低抵抗のp型Al ・G a (1-x) N (0≤x≤1)を作製することを特徴とし ても良く、水森を含む場合には水霧の効果を積極的に利 長直後の低抵抗のp型A 1xG a (1-x) N (0 ≤ x ≤ 1) た、雰囲気中には、水素を含んでいても、含んでいなく 族選化物から水業を排出させて p 型化をすることは困 ており、従来技術とは原理的に異なるものである。ま 用している点も従来技術とは異なる。

【0089】 すなわち、Mg (マグネシウム) と同時に (0≤×≤1)を含む半導体装置の作製方法において、 冷却雰囲気中に含まれる窒素原料としてはNH3(アン B (ポロン) が欲泊されているp型A 1xGa(1-x) N モニア)を用いることができる。

\$

には、その分解によって生成される原子状窒素による結 **島表面の分解抑制効果と木素によるクリーニング効果が** 【0090】鑑素原料ガスとしてNH3を使用するとき

[0091]また、本発用では、p型AlxGa(1-x)N (0≤×≤1)を含む半導体装置の第2の作製方法とし C、Mg (マグネシウム) と回時にB (ボロン) が液炉 されているp型A1xGa(1-x)N (0≦x≤1)を含む

し、その結晶成長直後の結晶成長湿度からの冷却を、N Hoの冷却雰囲気で行なうことによって、上述した半導 半導体積層構造を、水業ガスを含む反応系で結晶成長 体装置を作製することができる。

れる原子状鑑素による結晶表面の分解抑制効果と水素に よるクリーニング効果を、混合ガス雰囲気の場合よりも [0092] この第2の作製方法では、冷却中の雰囲気 がNHthガスのみであるので、その分解によって生成さ 効果的に得ることができる。

ガスとすることにより、養面劣化が抑制された低抵抗の p型A1*Ga(!-x)N (0≦x≦1) がas−grow 低抵抗の p 型III 族蛮化物は得られなかったが、本発明 では、結晶成長後の冷却過程において、雰囲気をNHタ は、木繋パンペーションにより p型結晶が高極抗化し [0093] なお、従来、NH1雰囲気中の熱処理で nで得られる。

その作製方法および半導体装置およびその作製方法につ [0094] 以下、本発用の111核窒化物半導体および いて、より詳細に説明する。

…例を示す図である。図1を奪照すると、サファイア墓 [0095] 図1は本発明に係る111族蜜化物半導体の 仮10上には、低温GaNバッファー帰11、III族蜜 L物半導体としてのp型A l×Ga(1-x)N (0≤x≤ 1) 層 1 2 が順次に積層されている。 [0096] ににで、p型A1xGa(1-x)N (0≦x≦ 1) 層12は、例えばx=0, 08のp型A1o.osGa 0.92 N層である。 [0097] そして、p型A10.08Ga0.92N層12に は、p型不純物のMg(マグネシウム)と同時にB(ボ ロン) が合まれている。ここで、MgとBは、ともに8 ×1019cm-3程度含まれている。

ア激度が8×1017cm−3で低極抗のp型を示した。な [0098] p型A10.08Ga0.92N層12は、キャリ b、Bを含まない場合は、キャリア濃度は1×1017c H-3 ためった。

成されている。なお、図2は受発光楽子の発光ダイオー ドの光出射端面に垂直な面での断面図であり、図3は発 【0099】また、図2,図3は本発明に係る半導体装 ドとがモノリシックに集積化された受発光素子として構 **端面発光型発光ダイオードと端面受光型フォトダイオー** 置の一例を示す図である。図2,図3の半導体装置は、 **光ダイオードの光出射熱面に平行な面での形面図であ**

[0100] 図2, 図3を容照すると、発光ダイオード とフォトダイオードは概ね直方体の形状をしており、発 光ダイオードの1つの光出射婚面とフォトダイオードの **受光端面とが向き合うように空間的に分離されて形成さ** 【0101】また、発光ダイオードとフォトダイオード は同一の積層構造からなっている。その積層構造は、サ

20

特別2002-324913

8

0.07G a 0.81Nクラッド層23、In 0.11G a 0.81N活 佐暦24、p型A10.07Ga0.93Nクラッド種25、p 型G a Nコンタクト層26が順次に積層されて形成され ファイア 基板20上に、AIN低温パッファー層21、 n型A 10.03G 80.97Nコンタクト層22、n型A 1

[0102] ここで、p型A 10.01G a0.93Nクラッド 層25,p型GaNコンタクト層26には、p型ドーパ ントとしてのMgと同時に、B(ボロン)がドーピング

されている。

01

【0103】発光ダイオードとフォトダイオードは、上 型A 10.03G a 0.91 Nコンタクト層22までエッチング 0.03 G a 0.91 N コンタクト層 2 2 の表面が離出し、離出 型GaNコンタクト層26上には、Ni/Auからなる 記積層構造をp型GaNコンタクト層26の表面からn することで空間的に分離されている。そして、n型Al Ti∕Alからなるn側オーミック偏極29が形成され ている。また、発光ダイオードとフォトダイオードのロ したn型A 1 0. 03 G a 0. 97 Nコンタクト層 2 2 上には、 p側オーミック電極28が形成されている。 20

【0104】さらにオーミック電極以外の部分には、S て、絶像保護膜27上には、エ:/A!からなる配線電 匿30が形成されており、配線電極30は、発光ダイオ ードとフォトダイオードのそれぞれの、p倒オーミック i Ozからなる絶縁保護膜27が維積されている。そし **8**種28と電気的に接続されている。

は基板に対して概ね垂直に形成されている。そして、発 【0105】発光ダイオードとフォトダイオードの側面 側面が、それぞれ、光出射端面202と受光面203に 光ダイオードとフォトダイオードの構を介して向き合う 合う側面と反対側の幅面が外部へ光を出射する光出射端 なる。また、発光ダイオードのフォトダイオードと向き 面201となる。

30

[0106] この集積型受発光素子は、発光ダイオード に順方向電流を注入し、フォトダイオードに逆パイアス を印加することによって動作する。すなわち、それぞれ の素子のp倒,n側オーミック電極に順方向あるいは逆 た光が、フォトダイオードの受光面203に入射し、そ し、外部に光電流として取り出される。フォトダイオー ドに注入する電流を調整し、光出力を制御することがで きる。なお、発光ダイオードに電流を注入して発光させ 方向にパイアスを印加すると、発光ダイオードは2つの フォトダイオードに向いた光出射端面202から出射し 光出射端面201,202か5光を出射する。そして、 ドの光電流をモニターすることによって、発光ダイオー の強度に対応した光起電力がフォトダイオードで発生 ると、発光のピーク被長は、約412mmであった。

【0101】次に、図2,図3の集積型受発光素子の作 は、集積型受発光素子の積層構造はMOCVD法で結晶 製工程例について説明する。なお、この作製工程例で

収長して作製した。

[0109] 次いで、温度を520℃に下げ、成長雰囲 【0108】この作製工程例では、まず、サファイア基 仮20を反応管にセットし、水構ガス中、1120℃で 気をNH3と窓楽と木紫の混合ガス雰囲気にし、TMA 加熱し、 基板200要面をクリーニングした。

あわせて供給し、n型A10.01G a0.01Nコンタクト層 22を3μmの厚さ、n型A10.01Ga0.93Nクラッド [0110] 次いで、温度を1070℃に上げ、水葉を キャリアガスとしてTMG,TMA,SIHIを組成に **層23を0.5μmの厚さに順次積層した。**

を流し、低温AINパッファー21を堆積した。

[0111] 次いで、水探ガスの供給を止め、雰囲気を 下げ、木森をキャリアガスとしてTMG, TMIを供給 し、 [no.17G a o.83 N活性層 2 4 を 5 0 n m の厚さに NH3と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に

合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水繋をキ およびB1H6を組成にあわせて供給し、p型A10.01G 80.93Nクラッド間25を0.5μmの噂き、p型Ga た。結晶成長終了後、p型層の低低抗化のため、籤業券 + 17 #A 2 L T T MG, T MA, (E t C p) 2 Mg [0112] 次いで、雰囲気をNH3と鑑案と水葉の混 Nコンタクト階26を0.2ヵmの厚さに順次復帰し 田気中で、750℃で15分間の熱処理を行った。

トダイオードになる高さ約1.5μmの直方体形状を形 [0113] 次に、幅30μm、長さ50μmの矩形パ ターンを長さ方向に5 um離して20並べたパターンを レジストで形成した。このレジストパターンをマスクと して、ドライエッチングを行い、発光ダイオードとフォ 成するとともに、n型A10.03G a0.91Nコンタクト層 2.2を貸出させた。

30

[0114] 次いで、絶検保護膜21となるsiO1を 徴層構造の装面に約0.5μmの厚さに推積した。

[0115] 次いで、p 倒オーミック電極28を形成し た。p側オーミック電極28の形成工程は次の通りであ る。すなわち、まず、発光ダイオードとフォトダイオー ドの上部に、レジストでヌキストライプパターンを形成 した後、絶縁保護膜21をエッチングしてp型GaNコ ンタクト層26を腐出させる。 [0116] 次いで、p側オーミック電極材料であるN i/Auを蒸潜した。その後、ウエハーを有機溶剤に浸 し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材 **をリフトオフして、発光ダイオードとフォトダイオード** 後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型GaNコ 【0111】 次いで、n回オーミック配極29と配換電 極30とを形成した。 n 倒オーミック電極29と配線電 極30の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、 ンタクト層26に p 側オーミック電極28を形成した。

n.型A 1 o. o3 G a o. 97 N コンタクト層 2 2 上部の S i O グレてn型A10.03Ga0.01Nコンタクト層22を靍出 させる。次に、レジストを除去し、再度レジストで、配 線電極30とヵ側電極29のリフトオフパターンを形成 する。次いで、ヵ倒オーミック電極と配線電極材料であ るTi/A1を茶着した。その後、ウエハを有機容剤中 **に後し、レジストを答かしたレジスト上に搭着された職** 極材料をリフトオフし、n側オーミック電極と配線電極 パターンを形成した。その後、窒素雰囲気で450℃で で、ダイシングを行い、集積型受発光器子をチップに分 1膜27上に、レジストで約100μm幅のヌキストラ イブパターンを形成した後、SiOt膜21をエッチン 熱処理し、n 側オーミック電揺29を形成した。次い 2

[0118]また、図4は本発明に係る半導体装置の他 の構成例を示す図であり、図4の例では、半導体装置は フォトダイオードとして構成されている。

[0119] 図4を眷照すると、このフォトタイオード ■44、p型A10.08Ga0.82N層45、A1Nキャッ は、サファイア基板40上に、低値GaNパッファー層 Ga0.gNパッファー鰡43、n型A1٥.0६Ga٥.92N 41、n型GaNコンタクト層42、低温n型Alo.1 ブ層46が順次に積層された積層構造を有している。

2

[0120] ここで、p型A 10.08G ao.82N圏45に は、p型ドーパントとしてのMgと同時に、B(ボロ ン)がドーピングされている。 [0121] そして、上記積層構造をAINキャップ層 4 6 から n 型G a N コンタクト層 4 2 が露出するまでエ ッチングして、直径150μmのメサ構造が形成されて

その外周がリング状にエッチングされ、p型A10.08G ao.82N層45の表面が露出している。館出したp型A ミック電極48が形成されている。また、露出したn型 GaNコンタクト層42にはn側オーミック電極49が 10.08G80.82N層45の表面にはリング状のp倒オー [0122] メサ構造上部のAINキャップ層46は、

オーミック電極 4.8 から引き出された配線電極50が形 【0123】また、オーミック配価48,49が形成さ 形成されている。また、メサ構造側面とn型GaNコン タクト層42上のSiOz絶縁保護膜47上には、p 倒 れている部分以外の領域にはSiO2絶縁保護膜47が

[0124] 図4のフォトダイオードにおいて、メサ橋 **含上部のリング状のp倒オーミック配極48で囲まれた** 部分が受光面300となる。このフォトダイオードに逆 パイアスを印加し、受光面300に光を照射すると、光 の強度に対応した光電流が流れる。図4のフォトダイオ ードは、3 4 6、1 n m より短い放長での光センサーと

-6

20

[0125] 次に、図4のフォトダイオードの作製工程 ットし、水繋ガス中、1120℃で加熱し、基板40の 例を説明する。まず、サファイア基板40を反応管にセ **嵌面をクリーニングした。**

[0127] 次いで、祖度を1050℃に上げ、TMG [0126] 水いで、湿度を520℃に下げ、雰囲気を LMGとLMAとSiHvを供給して、低温n型Alo.1 し、於いで、祖度を1010でに上げ、TMGとTMA NH3と鑑器と水器の混合ガス雰囲気にし、TMGを流 とSiHiを供給し、n型GaNコンタクト層42を2 μmの厚さに積層し、続いて、塩度を600℃に下げ、 Gg0.8 Nパッファー層43を約50mmの厚さに堆積 とSiH4を供給して、n型Alo.osGao.p2N層44 し、低温GgNパッファー層41を堆積した。

p) 1MgとB1H6を供給し、p型A 10.08G 80.91N [0128] 於いで、SiHiの供給を止め、 (EtC 幅45を0.5 mmの厚さ、AINキャップ編46を 0.1μmの厚さに積層した。

を1μmの厚さに積層した。

め、窒躁雰囲気中で、750℃で15分間の熱処理を行 [0129] 結晶成長終了後、p型層の低抵抗化のた

[0130] 次に、内径13.0μm、外形145μmの 行い、AINキャップ層46をエッチング除去し、p型 リング状に聞いたパターンやレジストや形成した。いの レジストパターンをマスクとして、ドライエッチングを A 1 o. os G a o. 92 N層 4 5 の 装面を露出した。

30 [0131] 衣いで、ドライエッチングで形成したリン 再びドライエッチングを行い、高さ約2μmのメサ形状 を形成するとともに、n型GaNコンタクト層42を靍 グパターン上に、レジストで直径150μmの円パター ンを形成した。このレジストパターンをレスクとして、

[0132] レジストマスクを除去した後、ウエハーを プラズマCVD装置にセットし、装面にSiO2瞭47 を約0.5μm堆積した。

[0133] 穴いで、p回オーミック配摘48を形成し た。 p 園オーミック配価48の形成工程は次の通りであ る。すなわち、まず、メサの上部にレジストでリング状 状にウエットエッチングで抜き、p型A 10.08G 80.92 N層45を韓出させる。次いで、p 伽オーミック配権材 料であるNi/Auを蒸着した。その後、ウエハーを有 機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着さ れた電框材をリフトオフして、メサ上部にp倒オーミッ ク電極パターンを形成した。その後、強繋雰囲気中、6 00℃で熱処理し、p型A 10.08G a0.92N層45にp のヌキパターンを形成した後、SiO2膜47をリング 岡オーミック価値48を形成した。

[0134] 次いで、n側オーミック電極49と配線電 題50とを形成した。n側オーミック観極49と配線観

特開2002-324913

9

極50の形成工程は次の通りである。まず、n型GaN でメサを囲む形状のヌキパターンを形成した後、SiO を露出させる。次に、レジストを除去し、再度レジスト で、配線電極50とn個電極49のリフトオフパターン を形成する。次いで、n側オーミック電極と配線電極材 **料であるTi/Alを茶着した。その後、ウエくを有機 路剤中に没し、レジストを終かしてレジスト上に蒸着さ** れた電極材料をリフトオフし、n側オーミック電極49 と配線電極50のパターンを形成した。その後、窒素雰 田気中、450℃で熱処理し、n個オーミック配種49 コンタクト層42上部のSiO2膜47上に、レジスト I膜47をエッチングしてn型GaNコンタクト層42 か形成した。

[0135] また、図5は本発明に係る半導体装置の他 の構成例を示す図であり、図5の例では、半導体装置は 半導体レーザーとして構成されている。なお、図5は半 導体レーボーの光出射方向に軸直な面での整面図であ

は、サファイア基板60上に、A1GaN低温パッファ n型A10.01Ga0.81Nクラッド層63、n型GaNガ イド報64、Ino.15Gao.85N/Ino.02Gao.98N 多**監集子井戸活性層(2ペ7)65、p型A 10.1G ao** 8N層66、p型GaNガイド層67、p型A10.08G 80.82Nクラッド層68、p型GaNコンタクト層69 一層61、n 型A10.03Ga0.97Nコンタクト層62、 【0136】図5を毎照すると、この半導体レーザー が順次に積層されて形成されている。 20

[0137] LLで、p型Alo.2Gao.eN層66, p 型GaNガイド層67, p型A10.08Ga0.92Nクラッ ド層68.p型GaNコンタクト層69には、p型ドー パントとしたのMgと回事に、B (ボロン) がドーパン グされている。

エッチングされ、電流狭窄リッジ構造400が形成され からり型A10.08G80.02Nクラッド番68の途中まで 【0138】また、上記積層構造は、p型GaNコンタ クト層69の表面から n型A 10.01 C 80,91 Nコンタク ト層62までエッチングされ、n型A10.03Ga0.01N コンタクト階62の袋面が霧出している。霧出したn型 A 10.03G 80.91Nコンタクト層62上には、Ti/A 【0139】また、p型GaNコンタクト層69の表面 たいる。そした、リッジ構造400の最数面のp型Ga Nコンタクト砲69上には、Ni/Auからなるp倒オ 1からなるn側オーミック電極72が形成されている。

[0140]また、電極形成即以外は、絶縁保護膜70 70上にはp回電極から引き出された配鉄電極73が形 としてSiOスが堆積されている。そして、絶縁保護膜 ーミック電極71が形成されている。

[0141] そして、積層構造と電流狭窄リッジ構造と 概な無直に光共復器端面が形成されている。

-

[0142] この半導体レーザーの電極71,72に順 方向に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加させ るとレーザー発板する。発板液長は約409nmであ

【0144】この作製工程例では、まず、サファイア基 【0143】次に、図5の半導体レーザーの作製工程例 板60を反応管にセットし、水霧ガス中、1120℃で を説明する。なお、この作製工程例では、半導体レーサ 一の積層構造の結晶成長はMOCVD法で行った。

[0145] 次いで、温度を520℃に下げ、雰囲気を NH3と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、TMGとT

07

加熱し、基板60の表面をクリーニングした。

[0146] 次いで、温度を1050Cに上げ、水寮を MAを流し、低温AIGaNパッファー層61を堆積し

あわせて供給し、n型A 10.03 G a 0.91 Nコンタクト層 62を2μmの厚さ、n型A10.08Ga0.82Nクラッド 隔63を0.7 mmの厚さ、n型GaNガイド階64を [0147] 次いで、水薬ガスの供給を止め、雰囲気を 下げ、水素をキャリアガスとしてTMG,TMIを供給 キャリアガスとしてTMG, TMI, SiHAを組成に NH3と窒果の混合ガス雰囲気にし、濃度を810℃に 1 μmの厚さに積層した。

L、Ine.15Gae.85N/Ine.02Gae.98N多氫量子 井戸活性層65(2ペア)を成長した。

の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素 67を0.1μmの厚さ、p型A10.08Ga0.91Nクラ ッド啓68を0. 7 μmの厚さ、p型GaNコンタクト ao.s N 图 6 6 を 2 0 n m の厚さ、p 型 G a N ガイド層 をキャリアガスとしてTMG, TMA, (EtCp) 2 [0148] 次いで、成長雰囲気をNH3と竈繋と水繋 Mg, B2H6を組成にあわせて供給し、p型A10.1G **廢69を0.2μmの厚さに積層した。**

め、窒素雰囲気中で、750℃で15分間の熱処理を行 [0149] 結晶成長終了後、p型層の低極抗化のた

ストパターンをマスクとして、約0. 1μmの磔さをド パターンを繰り返しピッチ1mmで形成した。 このレジ [0151] レジストマスクを除去した後に、さらにレ ジストでリッジ構造400を覆う幅500μmのストラ イブパターンを繰り返しピッチ1mmで形成した。この レジストパターンをマスクとして、約1. 5ヵ日の祭さ にドライエッチングして、n型A10.03G a0.91Nコン タクト層62を露出させた。次いで、絶縁保護膜10と 【0150】次いで、レジストで幅4mmのストライプ ライエッチングした、リッジ構造400を形成した。 なるSiO2を積層構造の表面に約0.5μm堆積し

9

ş た。p倒オーミック電極71の形成工程は次の通りであ 【0152】次いで、p側オーミック電極71を形成し

る。すなむち、まず、リッジ構造400の上部に、レジ ト層69を露出させる。次いで、レジストを除去し、再 **哦レジストで約450gm幅のヌキストライプパターン を形成し、リッジ上にp側オーミック電極材料であるN** i / A u を蒸着した。その後、ウエハーを有機溶剤に浸 をリフトオフして、半導体ソーザーの積層構造上にのみ p側オーミック電極パターンを形成した。その後、窒素 雰囲気中、600℃で熱処理し、p型GaNコンタクト 膜10をエッチングしてリッジ上のp型G a Nコンタク し、レジストを答かしてレジスト上に落着された電極材 ストでヌキストライプパターンを形成した後、S i O1 層69にp倒オーミック電極71を形成した。

グしてn型A 10.03G a 0.97Nコンタクト層62を轄出 リフトオフ用の電極パターンを形成する。次いで、n側 燕着を行い、ウエハを有機溶剤中に浸し、レジストを溶 [0153] 次いで、n 側オーミック電極12と配線電 簡73とを形成した。n側オーミック電極72と配線電 n型A 10.03 G a 0.97 N コンタクト層 6.2 上部の S ; O させる。レジストを除去した後、再びレジストを塗布し て、p個電極上とn側オーミック電極を形成する部分に オーミック電極材料と配装電極材料であるTi/A1の し、n回オーミック電極パターンと配線電極パターンを |膜10上に、レジストで約100μm幅のヌキストラ **飯73の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、** イプパターンを形成した後、S i O2膜10をエッチン 形成する。その後、鎧繋撃囲気で450℃で敷処理し、 かしてレジスト上に茶着された電極材料をリフトオフ n 倒オーミック 観極 7 2 を形成した。

し、リッジ構造400に概ね垂直になるように割り、光 【0154】次いで、サファイア墓板60を薄く研磨 共振器端面を形成する。

20

×≤1))の一般を説明するための図である。 より詳値 ≦1) はp型A 10.06 G a 0.82 Nであり、結晶成長後の [0155] また、図6は前述の第1の作製方法で作製 る。なお、この倒では、p型A1xGa(1-x)N (0≦x 冷却雰囲気に含まれる貧素原料はモノメチルヒドラジン した!!| 陝窒化物半導体 (p型A 1 x G a (1-x) N (0 ≦ に、図6は本発明のp型A1xGa(1-x)N (0≦x≦ 1)の結晶成長後の冷却過程を説明するための図であ (MMHy) であるとしている。

80をMOCVD装置にセットし、水素ガス中、112 [0157] 次いで、温度を520℃に下げ、雰囲気を 【0156】図6を奪照すると、まず、サファイア基板 NH3と鑑案と水業の混合ガス雰囲気にし、水業をキャ リアガスとして、TMG(トリメチルガリウム)を飛 0℃で加熱し、基板80の接面をクリーニングした。 し、低温GaNパッファー層81を堆積した。

原料としてTMG(トリメチルガリウム)とTMA(ト リメチルアルミニウム) を、また、ロ型ドーパントとし [0158] 次いで、温度を1070℃に上げ、川 | |

チルヒドラジン(MMH y)を、さらにB2H6を鑑案ガ スと水素ガスの混合ガスと同時に反応管に流し、p型A て (EtCp) 1Mgを、また、鑑案原料としてモノメ 10.08G 80.92N層82を結晶成長した。

%) と窒素ガスとモノメチルヒドラジン (MMHy) の 【0159】 結晶成長後に、111族原料とp型ドーパン ト原料とB2Heの供給を止め、水素ガス(全体の約6 昆合ガス雰囲気中で窒温まで冷却した。

たA 10.08G ao. 92 N結晶 8 2 の表面に電極を形成して ホール側定を行った。この枯果、A 10.08 G a 0.92 N層 8 2のキャリア徹度は8×1 01, c m-3 で低抵抗のp 型 【0160】冷却後、ウエハーを取り出し、結晶成長し

図、図8はフォトダイオードとなる積層構造の結晶成長 【0161】また、図1、図8は前述の第1の作製方法 5。なお、図7,図8の例では、第1の作製方法におい オトダイオードであり、図りはフォトダイオードの層画 している。また、図 2 , 図 8 の例では、半導体装置はフ て、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はNH3であると で作製した半導体装置の一例を説明するための図であ 後の冷却過程を説明するための図である。

爨92、p型A10.08Ga0.81N層93、A1Nキャン [0163] ここで、p型A 10.08G a 0.92N層93に [0162] 図1, 図8を帯断すると、このフォトダイ オードは、n型GaN基板90上に、低値n型Alo.t Gao.sNパッファー番91、n型Alo.osGao.s2N **ブ層94が順次に積層されて積層構造をなしている。**

[0164]また、図7を奪照すると、AINキャップ 習94は直径150 mmの円形に残され、その周囲はエ ッチングされ、p型A lo osG ao 92N層93の表面が **続出している。 韓出した p型A 10.08 G 80.82 N層93** の表面にはp倒オーミック電極95が形成されている。 ン」がドーパングかれたいる。

は、p型ドーパントとしてのMgと同時に、B(ボロ

また、n型GaN基板90の裏面にはn側オーミック電

極96が形成されている。

【0165】図1のフォトダイオードでは、p側オーミ 面600に光を照射すると光の強度に対応した光亀流が 荒れる。図7のフォトダイオードは346、1nmより このフォトダイオードに遊べイアスを印加し、受光 ック電極95で囲まれた円形部分が受光面600とな も短い彼長での光センサーとして機能する。

wnでp型A 10.08G a0.91N層93が作製されている ので、p型化のための熱処理を必要としていない。その **結果、結晶表面の分解がほとんどないので、結晶欠陥が** 発生せず、暗電流の少ないフォトダイオードとなってい [0166] 図1のフォトダイオードは、as-gro

【0161】 次に、 図1のフォトダイオードの作製方法 を説明する。まず、n型GaN基板90を反応管にセッ

特別2002-324913

2

窒素と水素の混合ガス雰囲気で、TMAとTMGおよび トし、水素と窒素とアンモニアガスの混合ガス中、11 さに堆積し、次いで、温度を1010に上げ、TMG 型A10.1G80.8Nベッファー番91を約50mmの厚 [0168] 次いで、温度を600℃に下げ、NH1と n型ドーパントガスであるSiH4ガスを流し、低温n とTMAとS i Htを供給して、n型A lo.01G a 0.92 20℃に加熱し、基板90の表面をクリーニングした。 N層92を1μmの厚さに積磨した。

p) 2MgとB2H6を供給し、p型A10.09Ga0.92N 晉93を0. 5μmの厚さ、AINキャップ層94を [0169] 次いで、SiH1の供給を止め、 0. 1 mの厚さに積層した。 2

[0170] 灰いで、TMG, (EtCp) 1Mg, B2 素ガス(全体の6%)の混合ガス雰囲気にして窒祉まで Hsの供給を停止し、反応管内を選集とアンモニアと水 **冷却し、反応管から基板を取り出した。**

ジストで形成した。このレジストパターンをマスクとし [0171] 次に、直径150 nmの円形パターンをレ て、ドライエッチングを行い、マスクパターン以外のA 1 Nキャップ層 9 4をエッチング除去した。

20

【0172】次いで、p側オーミック電極95を形成し た。p倒オーミック電極95の形成工程は次の通りであ して、AINキャップ層94の電極材料を除去した。そ る。すなわち、まず、AINキャップ番94の円形パタ ーン上にレジストで直径 1 4 0 g m の円形のパターンを 形成した後、p倒オーミック電極材料であるNi/Au を蒸着した。その後、基板を有機容剤に浸し、レジスト を溶かしてレジスト上に蒸着された電極材をリフトオフ の後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型A1 【0173】次いで、基板90の裏面を研磨し、厚さを Ti/Alを蒸着した。その後、窒素雰囲気で450℃ 約100μmにした後、n倒オーミック無種材料である

0.08 G 8 0.92 N層 9 3 に p 倒オーミック 観極 9 5 を形成

30

法で作戦した半導体装置の他の例を説明するための図で 【0174】また、図9、図10は前述の第1の作製方 ある。なお、図9,図10の例では、第1の作製方法に はフォトダイオードであり、図9はフォトダイオードの 断面図、図10はフォトダイオードとなる積層構造の結 るとしてる。また、図9.図10の例では、半導体装置 おいて、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はNH3であ で熱処理し、n側オーミック電極96を形成した。 ê

0.92N編102、p型A10.08Ga0.82N編103が順 [0175] 図9, 図10を参照すると、このフォトダ イオードは、n型GaN基板100上に、低温n型Al 0.1Ga0.9Nバツファー瘤101、n型A10.08Ga 晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

[0176] ニニで、p型A 10.08G ao.82N層103 次に積層されて積層構造をなしている。

には、p型ドーパントとしてのMgと同時に、B(ボロ ン)がドーピングされている。

[0177]また、このフォトダイオードは、p型A1 0.08G a 0.92N層 1 0 3からn型G a N基板 1 0 0 が線 出するまでエッチングして形成された直径150 μmの メサ梅油をなしている。

【0178】そして、メサ棒造とエッチングによって霧 出されたn型GaN基板100上には、SiOz絶線膜 104が形成されている。

0.08G a 0.92N層 1 0 3の表面が韓出している。韓出し た、メサ構造の側面とエッチングによって露出したn型 たp型A 10.08G a 0.82N層 103の表面には、リング は、p側オーミック電極105から引き出された配線電 状のp側オーミック配極105が形成されている。ま その外周がリング状にエッチングされ、p型A1 [0179] メサ構造の上部のSiO2絶線膜104 GaN基板100上のSiO2絶線保護膜104上に 極101が形成されている。

[0180] また、n型GaN基板100の裏面にはn 側オーミック電極106が形成されている。

20

[0181] 図9のフォトダイオードでは、メサ構造上 部のリング状のp側オーミック電極105で囲まれた部 分が受光面500となる。このフォトダイオードに逆バ イアスを印加し、受光面500に光を照射すると、光の ドは、346nmよりも短い改長での光センサーとして 強度に対応した光亀流が流れる。図9のフォトダイオー

るので、p型化のための熱処理を必要としていない。そ [0182] 図9のフォトダイオードは、as-gro の結果、結晶接面の分解がほとんどないので、結晶欠陥 wnでp型A | 0.08G a 0.82N層 1 0 3 が作製されてい が発生せず、暗電流の少ないフォトダイオードとなって

30

【0183】次に、図9のフォトダイオードの作製方法 を説明する。まず、n型GaN基板100を反応管にセ ットし、水探と窒霖とアンモニアガスの滝合ガス中、1 120℃に加熱し、基板100の表面なクリーニングし

窒素と水業の混合ガス雰囲気で、TMAとTMGおよび 型A 10.1G a 0.9 Nパッファー曜101を約50nmの 厚さに堆積し、次いで、温度を1070℃に上げ、TM [0184] 次いで、温度を600℃に下げ、NH3と n型ドーパントガスであるSiHtガスを流し、低温n GとTMAとSiH4を供給して、n型A10.08Ga0 82N图102を1μmの厚さに積層した。

[0186] 放いで、TMG, (EtCp) 1Mg, B1 [0185] 次いで、SiHiの供給を止め、(EtC p) 1MgとB1H6を供給し、p型A10.08Ga0.91N Hsの供給を停止し、反応管内を鑑器とアンモニアと水 **層103を0.5μmの厚さに積層した。**

素ガス(全体の6%)の混合ガス雰囲気にして室温まで 帝却し、反応管から基板を取り出した。 【0181】 次いで、レジストで直径150 mmの円パ て、ドライエッチングを行い、 高さ約2 u mのメサ形状 ターンを形成した。このレジストパターンをマスクとし を形成するとともに、n型GaN基板100を靍出させ 【0188】レジストマスクを除去した後、ウエハーを プラズマCVD装置にセットし、表面にSiO2膜10

である。すなわち、まず、メサの上部にレジストでリン ao.92N層103を韓出させる。 次いで、p 個オーミッ 【0 1 8 9】 吹いで、p 側オーミック電極 1 0 5 を形成 した。p側オーミック電極105の形成工程は次の通り リング状にウエットエッチングで抜き、p型A 10.08G ク電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、ウエ ハーを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上 に茶着された電極材をリフトオフして、メサ上部にp倒 オーミック電極パターンを形成した。その後、窒素雰囲 気中、600℃で熱処理し、p型A10.08Ga0.92N層 グ状のヌキパターンを形成した後、S i 01膜104を 103にp倒オーミック電極105を形成した。 4を約0.5 mmの厚さに堆積した。

紫着した。その後、ウエハを有機溶剤中に浸し、レジス [0190] 次いで、配線電極107を形成した。配線 監極107の形成工程は次の通りである。 すなわち、ま ず、レジストで、配線電極107のリフトオフバターン を形成する。次いで、配線電極材料であるTi/A 1 を トを浴かしてレジスト上に蒸着された電極材料をリフト オフし、配線電極107を形成した。

面に形成した。すなわち、基板100の裏面にTi/A 【0191】次いで、n型電極106を基板100の嚢 1を蒸替し、その後、窒素雰囲気中、450℃で熱処理 し、n側オーミック電極106を形成した。

【0192】最後に、ダイシングを行い、フォトダイオ ードをチップ分離した。

は端面発光型発光ダイオードであり、図11は端面発光 【0193】また、図11、図12は前述した第2の作 製方法で作製された半導体装置の一倒を説明するための 図である。なお、図11,図12の例では、半導体装置 図12は婚面発光型発光ダイオードとなる積層構造の結 型発光ダイオードの光出射端面に垂直な面での断面図。 晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

[0194] 図11, 図12を畚照すると、発光ダイオ **ードは概ね直方体の形状をしており、発光ダイオードの** - 側面が光出射焔面となっている。

3a N基板110上に、n型A 10.01G a 0.93N低温ペ 【O195】また、発光ダイオードの積層構造は、n型 ッファー層111、n型A10.2Ga0.8Nクラッド層1 12、A10.07Ga0.03N活性層113、p型A10.2 G ao. aNクラッド層114、p型G a Nコンタクト層

[0196] ここで、p型A10.1G a0.8Nクラッド層 114、p型GaNコンタクト層115には、p型不純 15が順次に積層されて形成されている。 **かであるMgと同時にBが添加されている。**

【0197】また、発光ダイオードのp型GaNコンタ クト層115上には、Ni/Auからなるp側オーミッ ク電極116が形成されている。

[0199] そして、この発光ダイオードの側面は基板 [0198] また、基板110の裏面には、Ti/Al からなるn側オーミック電極117が形成されている。 110に対して無直に形成されている。

ら光が外部に出射される。この発光ダイオードの発光の [0200] この発光ダイオードは、p側, n側オーミ と、殆光ダイギードの一箇面である光田幹籍面100か ック電極116,117に順方向のパイアスをかける パーク徴取は、巻350mmかむられ。 [0201] 次に、図11の発光タイオードの作製方法 VD法で結晶成長して作製した。まず、n型GaN基板 110を反応管にセットし、アンモニアガス中、112 |0202||次いで、温度を600℃に下げ、雰囲気を を説明する。なお、発光ダイオードの積層構造はMOC し、n型低温A10.01G 80.93Nパッファー層111を MGおよびn型ドーパントガスであるSiHィガスを流 NH3と窒棄と水素の混合ガス雰囲気にし、TMAとT 0℃で加熱し、基板110の表面をクリーニングした。

1 2を0. 3 mmの厚さ、A 10.07 G a 0.93 N 番性層 1 にあわせて供給し、n型A10.1GB0.8Nクラッド磨1 G, TMAおよびn型不純物ガスとしてSiHaを相成 [0203] 次いで、温度を1070℃に上げ、TM 13を0.05μmの厚さに積層した。

30

[0205] 結晶成長終了後、反応管内をアンモニアガ と、導通が有り、表面のp型GaNコンタクト層115 不純物原料である(E t C p) 2Mg とそれと同時にB2 ラッド層114を0.3μmの厚さ、p型GaNコンタ 【0206】冷却後、積層構造表面にテスターを充てる Heを組成にあわせて供給し、p型A 10.1G a 0.8Nク スのみの雰囲気にして成長温度から窒泡まで冷却した。 クト陽115を0.2μmの厚さに積層した。 が低抵抗であることが確認された。

【0201】次いで、p回オーミック配極材料であるN i / A u を積層構造上面に蒸落した。その後、蜜業雰囲 気中、600℃で熱処理し、p型GaNコンタクト層1 15にp側オーミック電極116を形成した。

10の裏面にヵ側オーミック電極材料であるT;/A1 を蒸着し、窒素雰囲気で450℃で熱処理して、n側オ し、約100μ日の厚なにした。そして、GaN基板1 [0208] 次いで、GaN基板110の製画を母磨 - ミック鼠権 1.17 を形成した。

[0209] 次いで、基板をへき開して、出射端面10 0の形成とチップ分離とを行った。

帝国2002-324913

\$

第2の作製方法で作製された半導体装置の他の例を説明 するための図である。なお、図13、図14、図15の 尊体レーザーの斜視図、図14は半導体レーザーの光出 [0210] また、図13, 図14, 図15は前述した **例では、半導体装置は半導体ワー扩であり、図13は半** 射方向に垂直な面での断面図、図15は半導体レーザー となる積層構造の結晶成長後の冷却過程を説明するため の図である。 2

0.01G a 0.91 N高温バッファー層 1 2 2 、n 型 A 1 0.01 ッド層128、p型GaNコンタクト層129が順次に 一ザーの積層構造1000は、n型GaN基板120上 4、[no.15Gao.85N/!no.02Gao.96N多国量子 井戸活性層125、p型Alo.1Gao.8N層126、p 【0211】図13乃至図15を参照すると、半導体レ に、n型AlGaN低値パッファー層121、n型Al Gao.83Nクラッド曜123、n型GaNガイド磨12 型GBNガイド届127、p型A10.01G80.83Nクラ 積層されて形成されている。

p 盥不鶭動であるM g と回時に B がドーピングされてい p型GaNガイド書127、p型A10.01Ga0.93Nク 【0212】そして、p型A10.1Ga0.8N層126、 ラッド磨128、p型GaNコンタクト磨129には、

ト層129の按面からp型A 10.07G a0.93Nクラッド 【0213】積層構造1000は、p型GaNコンタク 冒128の途中までエッチングされ、観視狭镥リッジ橋 造800が形成されている。

【0214】そして、リッジ構造800の最表面のp型 回電極形成部以外は、絶縁保護膜130として、SiO GaNコンタクト階129上には、Ni/Auからなる p側オーミック電極131が形成されている。また、p が堆積されている。

[0204] 次いで、n型不純物原料の代わりに、p型

沙構造800と概ね垂直に光共版器矯面801,802 [0215] そして、積層構造1000と電流狭窄リッ 25形成されている。

[0216] また、GaN基板120の裏面には、Ti /Alからなるn側オーミック電極132が形成されて

に順方向に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加 [0217] いの半導体アーゲーの転衝131, 132 させるとレーザー発振した。発振液長は約409mmで . 8 6

アンモニアガスの混合ガス中、1120℃に加熱し、基 [0218] 衣に、図13, 図14の半導体レーザーの 作製方法を説明する。なお、半導体レーザーの積層構造 型GaN基板120を反応管にセットし、水楽と窒素と 1000の結晶成長はMOCVD法で行った。まず、n 板120の表面をクリーニングした。 ટ

Š

窒素と水素の混合ガス雰囲気で、TMAとTMGおよび n型ドーパントガスであるSiHィガスを流し、n型低 [0219] 次いで、温度を600℃に下げ、NH3と 温A I G a N パッファー層 1 2 1 を堆積した。

さ、n型GaNガイド層124を0.1μmの厚さに積 [0220] 次いで、温度を1010℃に上げ、水素を 80.91 N南温バッファー層122を1μmの厚さ、n型 キャリアガスとしてTMG,TMA,n型不純物ガスと A lo o1G a o 93Nクラッド層123を0.5μmの厚 してSiHィを組成にあわせて供給し、n型A10.01G

[0221] 次いで、水素ガスの供給を止め、雰囲気を 下げ、水茶をキャリアガスとしてTMG, TM I を供給 し、Ino.15Gao.85N/Ino.02Gao.98N多氫量子 NH3と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に 井戸活性層 125 (2ペア)を成長した。

の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、木素 をキャリアガスとしてTMG,TMA,p型不純動原料 p型GaNガイド層127を0.1μmの厚さ、p型A さ、p型GaNコンタクト層129を0.2μmの厚さ [0222] 次いで、成長雰囲気をNH3と窒素と水素 L、p型A10.2Ga0.8N層126を20nmの厚さ、 10.01Ga0.93Nクラッド圏128を0.5μmの厚 の (EtCp) 1Mg, B1Hiを組成にあわせて供給

20

【0223】結晶成長終了後、反応管内をアンモニアガ [0224] 冷却後、積層構造表面にテスターを充てる と、苺通が有り、表面のp型GaNコンタクト層129 スのみの雰囲気にして成長温度から室温まで冷却した。 が低抵抗であることが確認された。 [0225] 次いで、レジストで幅4μ田のストライプ パターンを繰り返しピッチ300umで形成し、1のひ ジストパターンをマスクとして、約0. 1ヵ田の除さ杏 [0226] しかる後、レジストマスクを除去し、その 後、絶禄保護膜130となる5iのを積層構造の装面 ドライエッチングして、リッジ構造800を形成した。 に約0.5μmの厚きに堆積した。

電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、窒素雰 【0221】 炊いで、p側オーミック電極131を形成 した。 p 倒オーミック電極131の形成工程は次の通り で、レジストを除去し、ウエハー表面にp側オーミック 田気中、600℃で熱処理し、p型GaNコンタクト層 レジストでヌキストライプパターンを形成した後、Si である。すなわち、まず、リッジ構造800の上部に、 02絶終保護膜130をエッチングしてリッジ800上 のp型GaNコンタクト層129を露出させる。次い 129にp側オーミック電極131を形成した。

【0228】次いで、基板120の裏面を研磨し、厚さ を約100μmにした後、基板120の裏面にn側オー ミック電極材料であるTi/AIを蒸磨した。その後、

窒券雰囲気で450℃で熱処理し、n側オーミック電極

ウエハーをリッジ800に概ね垂直になるようにへき開 [0229] 吹いで、半導体レーザー構造が形成された し、光共振器構面801,802を形成した。

[0230] また、図16, 図11, 図18は前述した 用するための図である。なお、図16, 図17, 図18 の光出射方向に垂直な面での断面図、図18は半導体レ 第2の作製方法で作製された半導体発光素子の一例を説 の例では、半導体発光素子は半導体レーザであり、図1 6 は半導体レーザーの斜視図、図17 は半導体レーザー 一ザーとなる積層構造の結晶成長後の冷却過程を説明す るための図である。

9

[0231] 図16乃至図18を参照すると、半導体レ に、n型AlGaN低温パッファー層141、n型Al).03Ga0.97N高値パッファー層142、n型A10.15 イド暦144、GBN/A10.1GB0.4N多重量子井戸 活性層145、p型A10.2Ga0.8N層146、p型A Gao.86Nクラッド層143、n型Alo.1Gao.9Nガ 10.1G a 0.9Nガイド磨147、p型A 10.15G a 0.85 Nクラッド層148、p型GaNコンタクト層149が **順次に積層されて形成されている。**

p型A10.1Ga0.4Nガイド冊147、p型A10.15G 80.85Nクラッド層148、p型GaNコンタクト層1 49には、p型不純物であるMgと同時にBがドーピン [0232] そして、p型A 10.1G ao.8N層146、 グされている。

ト層149の表面からp型A 10.18 G ao.85 Nクラッド 【0233】 積層構造2000は、p型GaNコンタク ■148の途中までエッチングされ、韓疣狭窄リッジ構 面900が形成されている。

[0234] そして、リッジ構造900の最表面のp型 GaNコンタクト磨149上には、Ni/Auからなる **岡電極形成部以外は、絶縁保護膜150として、SiO** p 個才一ミック電極151が形成されている。また、 が推復されている。

2.構造900と概ね垂直に光共振器端面901,902 [0235] そして、積層構造2000と電流狭窄リッ が形成されている。

40

[0236] また、GaN基板140の裏面には、Ti /A1からなるn倒オーミック電極152が形成されて [0237] この半導体レーザーの電極151, 152 **ご順方向に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加** させるとレーザー発振した。発複液長は約365mmで

[0238] 次に、図16,図17の半導体レーザーの 2000の結晶成長はMOCVD独で行った。まず、n 作製方法を説明する。なお、半導体レーザーの積層構造

20

アンモニアガスの混合ガス中、1120℃に加熱し、萬 型GaN基板140を反応管にセットし、水素と窒素と 版140の表面をクリーニングした。

音楽と木兼の混合ガス雰囲気で、TMAとTMGおよび [0239] 次いで、温度を600℃に下げ、NHsと n型ドーパントガスであるSiHsガスを流し、n型低 個AIGaNパッファー層141を堆積した。

さ、n型Alo.1Gao.9Nガイド層144をO.1μm の厚さに順次積層し、次いで、GaN/A10.1Gao.9 【0240】次いで、温度を1070℃に上げ、水素を 80.91 N南温パッファー層 1 4 2 を 1 μ m の厚さ、n 型 キャリアガスとしてTMG, TMA, n型不純物ガスと A 10.15G a 0.85Nクラッド層143を0。 5 μmの厚 してSiHイを粗成にあわせて供給し、n型A lo.01G N多重量子井戸活性層145 (3ペア)を積層した。

さ、p型A10.16Ga0.85Nクラッド層148を0.5 [0241] 次いで、TMG,TMA,p型不純物原料 p型A10.1Ga0.9Nガイド層147を0. 1μmの厚 μmの厚さ、p型GaNコンタクト層149を0.2μ L、p型A 1 0.1 G a 0.8 N層 1 4 6 を 2 0 n m の厚さ、 の(EtCp) tMg、BtHeを超成にあわせて供給 mの厚さに順次積層した。 [0242] 枯晶成要終了後、反応管内をアンモニアガ [0243] 冷却後、積層構造表面にテスターを充てる と、導通が有り、表面のp型GaNコンタクト層149 スのみの雰囲気にして成長温度から室温まで冷却した。 が低格抗であることが確認された。

ジストパターンをマスクとして、約0. 1 μmの深さを [0245] しかる後、レジストマスクを除去し、その 【0244】 次いで、レジストで幅4ヵmのストライン パターンを繰り返しピッチ300g EPを成し、このV 後、絶縁保護膜150となる3i02を積層構造の表面 ドライエッチングして、リッジ構造900を形成した。 に約0.5ヵmの厚みに抽種した。

[0246] 次いで、p側オーミック電極151を形成 で、レジストを除去し、ウエハー装面にp側オーミック した。p倒オーミック電極151の形成工程は次の通り 電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、窒素雰 田気中、600℃で熱処理し、p型GaNコンタクト層 【0247】次いで、基板140の裏面を研磨し、厚さ レジストでヌキストライプパターンを形成した後、Si O2絶縁保護膜150をエッチングしてリッジ900上 のp型GaNコンタクト層149を露出させる。次い である。すなわち、まず、リッジ構造900の上部に、 1 4 9 に p 倒オーミック電極 1 5 1 を形成した。

Ş

を約100μmにした後、基板140の裏面にヵ側オー 窒染雰囲気で450℃で熱処理し、n 側オーミック電極 ミック電極材料であるTi/A1を蒸着した。その後、

【0248】次いで、半導体レーザー構造が形成された

降開2002-324913

9

ウエハーをリッジ900に概ね垂直になるようにへき開 し、光共飯器矯固901,902を形成した。

[発明の効果] 以上に説明したように、請求項1記載の

8明によれば、Mgが欲加されたp型Al*Ga(1-x)N (0 ≦×≤1) には、Mgと同時にBが添加されている ので、Mgの添加による結晶の不安定化が緩和され、禹 その結果、従来にない高いキャリア濃度のp型AliG (0≦×≦1) において、前記p型A1xGa(1-x)N 農度にM s を添加してもキャリア濃度の減少が起らす。 a (1-x) N (0≦x≦1)を得ることができる。 9

なる半導体装置の抵抗の増大の原因となっていたD型A 等、半導体装置の特性が向上し信頼性を高めることがで [0250]また、静水項2記載の発明によれば、請水]×Ga(1-x)N (0≤×≤1)のキャリア鎌限が耐く低 抵抗であることにより、動作亀圧が低く、発熱しにくい 有しているので、従来111核盗化物半導体積層構造から 項1記載の111族蛮化物半導体を含む半導体積層構造を

低柢抗のワイドギャップのp型A 1xGa(i-x) N (0≦ (紫外領域) で動作する受光素子となる。また、半導体 装置が発光素子の場合には、従来よりも短波長の領域で 【0251】特に、半導体装置が受光素子の場合には、 ×≦1)を使用できるので、従来よりも短い被長領域 発光する発光素子となる。 20

(、発熱による傷極破壊が生じにくい等、半導体装置の [0252] また、請求項3記載の発用によれば、請求 **項2記載の半導体装置において、p側オーミック範極を** らなる半導体装置の抵抗の増大の原因となっていたp側 形成するコンタクト層に請求項1記載の111旅蜜化物半 単体を用いるので、従来111族窒化物半導体積層構造か オーミック電極の接触抵抗が低減され、動作電圧が低 特性が向上し信頼性を高めることができる。

8

素子抵抗が従来のものよりも低く、これによって、高出 また、p型AIGaNはas-grownでp型特性を 用が必要とされない。従って、従来よりも動作電圧が低 く、高出力、長寿命、高信頼性で低コストの半導体発光 [0253] また、欝水項4記載の発明によれば、欝水 項2または請求項3記載の半導体装置において、該半導 体装置は半導体発光素子であり、高いキャリア濃度の p 示すので、p型化のための特別な処理にかかる時間と費 力動作を行っても発熱が少なく、業子の劣化が少ない。 型AIGaNが半導体発光業子に使用されているので、 森子を提供できる。

頁4記載の半導体装置において、前記半導体発光案子は I GaNを半導体レーザーに使用しているので、報子抵 【0254】また、翳水項5記載の発明によれば、翳水 キ導体レーザー素子であり、高いキャリア濃度のp型A 抗が従来のものよりも低く、これによって、高出力動作 を行っても発熱が少なく、乗子の劣化を少なくすること **将暦2002-324913**

サファイア基

3

かかる時間と費用が必要とされない。従って、従来より は、p型AIGaNクラッド間のキャリア濃度が低いた し、発光効率の低下を招いていたが、本発明の半導体レ 一ザーは、高いキャリア機度のp型A1GaN層をクラ [0256] さらに、p型AIGaNはas-grow nでp型特性を示すので、p型化のための特別な処理に も動作也圧が低く、高出力、長寿命、高信頼性で低コス め、電子が活性層からD型クラッド層にオーバーフロー ッド腎に使用することができるので、発光効率が高い。 【0255】また、従来の111校館化物半導体レーザー トの半項体ソーザーを提供できる。

2

[0257]また、朝水項6記載の発明によれば、請求 **段4または慰求項5記載の半導体装置において、前記半** 導体発光紫子は、発光被長が400nm以下であり、p 高いキャリア激度の p 型A 1 G a Nを使用することがで きるので、従来では困難であった400mm以下の故長 型AIGaNクラッド뤔にA1の碓晶組成比が大きく、 域での高効率の発光が実現できる。

することが可能となり、低コストの半導体レーザー繋子 [0258] また、請求項7記載の発明によれば、請求 項5 記載の半導体装配において、半導体装置としての半 体をクラッド層に用いた少なくとも1つのp-n接合を りもキャリア織度の高いp型A1xGa⑴-x)N (0≦x **51)をp型クラッド層に使用しているので、動作電圧** の低い、高出力、長野命、高信頼性の半導体レーザー繋 子を提供できる。また、超格子構造を作製する必要がな くなるので、結晶成長に要する時間と装置コストを低減 有しており、従来の|||核蝥化物半導体レーザー繋子よ 導体レーザー茶子は、韓水頃1記載の111枝鑑化物半導

AliGa(1-x)N (0≤x≤1) Oas-grown? [0259] また、請水項8配敷の発明によれば、Mg と同時にBが添加されているp型A1xGa(1-x)N(0 ≤×≤1)を、水業ガスを含む反応系で結晶成長し、そ の結晶成長直後の結晶成長温度からの冷却を、窒素原料 を含む冷却雰囲気で行うようになっており、MgとBを (0≤×≤1)の結晶成長と、鑑<mark>探原料を含む雰囲気</mark>ガ ス中での冷却とを組み合わせることで、従来難しかった 同時に添加しての高キャリア濃度のAlxGa(t-x)N のp型結晶が得られる。

[0260]また、請水項の記載の発明によれば、請水 される水素によって、結晶数面に吸着している未反応の 有機原料や、有機物の水漿によるクリーニング効果が期 却雰囲気中に含まれる選素原料はNH3であるので、精 **水項8の作用効果に加えて、NH3の分解によって生成** 項8記載の111族窒化物半導体の作製方法において、予 待でき、装面の汚染による装面抵抗の増加を防止でき

30 [0261] また、欝水項10配載の発明によれば、M

し、その結晶成長直後の結晶成長温度からの冷却を、N るクリーニング効果を、混合ガス雰囲気の場合よりも効 る原子状窒素による核晶表面の分解抑制効果と水素によ 果的に得ることができ、その結果、従来よりも高いキャ リア激度のp型AlrGa(1-x)N (0≦x≦1)をas Haの冷却雰囲気で行なうようになっており、冷却雰囲 気がNH3ガスであるので、その分解によって生成され gと同時にBが添加されているp型AlrGa(1-x)N (0≤×≤1)を、水繋ガスを含む反応系で結晶成長

[0262] また、欝水項11記載の発明によれば、M (0 m× × 1)を含む半導体積層構造を、水漿ガスを含 ひ反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温 度からの冷却を、鑑素原料を含む雰囲気で行うようにな のA 1 x G a (1-x) N (0 ≤ x ≤ 1)の枯晶成長と、 盤珠 で、 稅米購しかった A 1x G a (1-x) N (0 ≦ x ≦ 1) の っており、MgとBを同時に添加しての髙キャリア激度 原料を含む雰囲気ガス中での冷却とを組み合わせること gと同時にBが欲加されているp型AlrGa(I-x)N as—grownでのp型結晶が得られる。 一Brownで作数できる。

では、冷却雰囲気に含まれる窒素原料が、AIGaNの 果、ドナー性欠陥となる窒素空孔の生成が抑制され、衰 あるいは積層構造の最表面に結晶成長される場合におい 生成反応に寄与する原子状の窒素を生成するため、AI GaN結晶接面からの窒素の解離が防止され、その結 【0263】A1xGa(1-x)N (0≤x≤1) が単層、 面の高板抗化が防止される。

20

[0264] 鐵素原料による分解の抑制は、p型A1G 最表面の熱分解による劣化が防止され、結晶品質の良い **樹晶を半導体装置に使用することができる。従って、従** 来よりも電気的特性が優れ、高信頼性の半導体装置を作 a Nだけではなく、他のIII族強化物結晶にも効果があ るので、半導体装置を構成するIII核強化物積層構造の 製することができる。

【0265】また、p型化のための熱処理を必要としな いため、半導体装置の作製工程を簡略化でぎるととも に、熱処理の設備費とエネルギー消費を削減できるの で、低コストで半導体装置を作製することができる。

る水繋によって、結晶表面に吸着している未反応の有機 原料や、有機物の木繋によるクリーニング効果が期待で [0267] 従って、従来よりも高いキャリア徽度のp 型A j x G a (1-x) N (0≤x≤1) をas−grown **高信頼性の半導体装置を低コストで作製することができ** [0268] また、請水項12記載の発明によれば、請 水項11記載の半導体装置の作製方法において、冷却男 田気中に含まれる窒素原料はNH3であるので、請求項 8の作用効果に加えて、NH3の分解によって生成され で作製できるとともに、従来よりも電気的特性が優れ、 き、表面の汚染による表面抵抗の増加を防止できる。

[0268] また、請水項13記載の発明によれば、M (0≤×≤1)を含む半導体積層構造を、水素ガスを含 む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温 抑制効果と水素によるクリーニング効果を、避合ガス雰 (0≦×≦1) をas-grownで作製できる。これ により、従来よりも電気的特性が優れ、高信頼性の半導 降によって生成される原子状窒素による結晶要面の分解 度からの冷却を、NH3の冷却雰囲気で行なうようにな っており、冷却雰囲気がNHsガスであるので、その分 田気の場合よりも効果的に得ることができ、その結果、 従来よりも高いキャリア機度のp型A1xGa(1-x)N g と同時にBが抵加されているp 型A l *G a C - *,) N 体装置を低コストで作製することができる。

|図1] 本発明に係る11||眩窒化物半導体の一例を示す [図面の簡単な説明] 図である。

|図2| 本発明に係る半導体装置の一例を示す図であ

|図3| 本発明に係る半導体装置の一例を示す図であ

[図4] 本発明に係る半導体装置の他の構成例を示す図

[図5] 本発明に係る半導体装置の他の構成例を示す図

|図6||本発明のp型A||*Ga(1-x)N (0≦x≤1) の結晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

「図8】図7のフォトダイオードとなる積層構造の結晶 図1】フォトダイオードの一例を示す図である。 **故長後の冷却過程を説明するための図である。**

|図11|| 雄面発光型発光ダイオードの一側を示す図で |図10| 図9のフォトダイオードとなる積層構造の結 [図9] フォトダイオードの一例を示す図である。 晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

|図12||図11の端面発光型発光ダイオードとなる機 層構造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図であ

【図14】図13の半導体レーザーの光出射方向に垂直 |図15||図13, 図14の半導体レーザーとなる機幅 |図13||半導体レーザーの一側を示す斜視図である。 構造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図であ な笛での酢酒図である。

【図18】図16、図170半導体レーザーとなる機幅 【図17】図16の半導体ソーザーの光出針方向に無直 [図16] 半導体レーザーの一例を示す斜視図である。 構造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図であ な固たの断酒図である。

n型 A 10.03G 80.87Nコンタ n型A 10.01G 80.01Nクラッ P型A 10.01G 80.81Nクラッ 低値GaNパッファー層 P 個 V 10.08 G 80.82 N 面 低値AINパッファー編 [no.11Geo.83N部存在 10, 20, 40, 60, 80 11, 41, 81 [符号の説明] 25, 128 23, 123 12,82 22, 62 . 1 2 クト層

p型G 28, 48, 71, 95, 105, 116, 131, 1 29, 49, 72, 96, 106, 117, 132, 1 **保値n型 Alo.iG80.8Nパッファー** n 控 V 10.08 C 80:92 N p型 Ale.08Gao.92 27, 47, 70, 104, 130, 150 n型G a Nコンタクト層 26, 69, 115, 129, 149 52, 171n倒オーミック電極 51,170p倒オーミック配極 SiOzからなる絶縁保護膜 30, 50, 73, 107 45, 93, 103 14, 92, 102 BNコンタクト配 4 2 2

I no. 15 G ao. 85 N / I no. 02 p型GaNガイド幅 B B B B B A F F B n型A 10.01G a 0.92 Nクラッド側 D型A10.08G80.92Nクラッド層 p型A 10.1G a 0.8 N層 90, 100, 110, 120, 140, 160 AIGaN供価ペッファー職 G a o. o s N 多磁盘子井戸活性層(2 ペア) AINキャップ間 67, 127, 167 64, 124, 164 n型GaN路板 66, 126 65, 125 46,94 8 9 Ş

保値n型 Alo.1G80.9Nパ n型 Alo.01Gao.83N低値パップ n型AIGaN低温パッファ p型A 10.2G a 0.8Nクラッド船 n型A 10.2G a 0.8Nクラッド層 A 10.01G a 0.93 N部件編 121, 141 91, 101 113 114 111 奥ーム 1 1 2

<u>ا</u>

n型A 10.03G 80.87 N轨值

122, 142

20

|図19] 従来の半導体レーザーを示す図である。

特開2002-324913

(£)

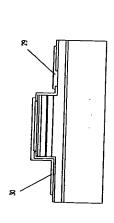
I no. 05 G ao. 95 N/I no. 2 G ao. 8

N多重量子井戸構造の活性層

p型A 10.1G 80.8N/G 8 N超格子

p型A 10.3G 80.1Nキャップ層

[図3]



電流狭窄リッジ構造

光五紫貓圈

203, 300, 500, 600

p型Alo.15Gao.85Nクラッド層

161

p型 Alo.1Gao.9Nガイド層 p型A10.1G80.8N層

201, 202, 700 400, 800, 900

p型GaNコンタクト層

クラッド層 166 168 169

G a N/A 10.1G a 0.9 N多重量子井

戸括性閥

146 147 1 4 8

n型A 10.15G a 0.85Nクラッド層

143 144 145

33

n型 Ale.1Gae.8Nガイド層

401, 402, 801, 802, 901, 902

10

163 n型A10.2Ga0.8N/GaN超格子より成るフラッド圏

図1]

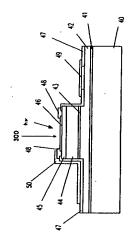
n型 I no.1Gao.9Nクラック防止層 n型GaNより成る第2のパッファー

162

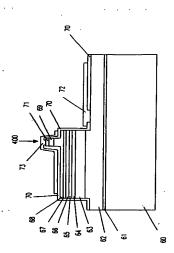
光共板器雄面 1000, 2000

半導体フーザーの積層構

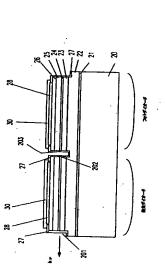
[図4]



[図2]



[図2]

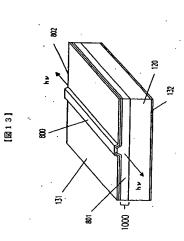


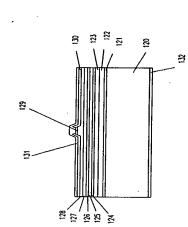
-20-

88

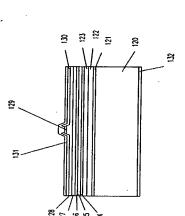
2002 T

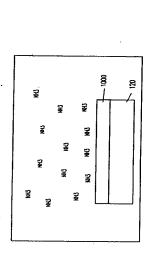
[816]





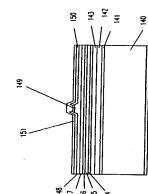
[🖾 1 4]



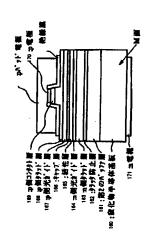


[図15]

~23~

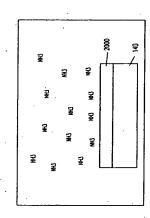


[图17]



[図19]

-24-



フロントページの統さ

(72)発明者 三樹 剛 東京都太田区中馬込1丁自3番6号·株式 会社リュー内

F ターム(参考) 5F041 AA03 AA21 AA43 CA40 CA57 CA65 FF13 FF14 5F045 AA04 AB14 AB17 AC08 AC12 AD12 AD14 AF04 BB16 CA12 DA53 DA55 5F073 AA13 AA45 AA74 BA01 BA05 CA07 CB05 DA05 DA01 DA21 DA31 EA28

THIS PAGE BLANK (USPTO)

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

□ BLACK BORDERS
□ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
□ FADED TEXT OR DRAWING
□ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
□ SKEWED/SLANTED IMAGES
□ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
□ GRAY SCALE DOCUMENTS
□ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
□ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

☐ OTHER:

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)